

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-216432

(P2000-216432A)

(43) 公開日 平成12年8月4日(2000.8.4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	チーコード (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 4 1
21/205		21/205	5 F 0 4 5
H 0 1 S 5/34		H 0 1 S 3/18	6 7 6 5 F 0 7 3
5/343			6 7 7

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-11421

(22) 出願日 平成11年1月20日(1999.1.20)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 谷沢 公二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

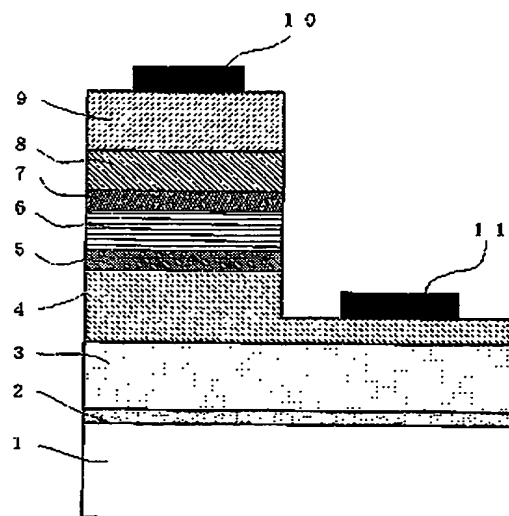
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体素子

(57) 【要約】

【目的】 n型コンタクト層へのn型不純物のドーピングを多くして、 $V_f$ および閾値を低下させ、さらに発光効率の高い窒化物半導体素子を提供する。

【構成】 単層または多層からなる量子井戸構造の活性層に接してn側に、アンドープの窒化物半導体を5000オングストローム以下で形成し、同じく活性層に接してp側に、アンドープの窒化物半導体を1000オングストローム以下の膜厚で形成する。



BEST AVAILABLE COPY

(2)

特開2000-216432

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型Ga<sub>1-b</sub>Nを含んでなるn型コンタクト層と、In、Gaを含み量子井戸を有する活性層と、p型AlGa<sub>1-b</sub>Nを含んでなるp型クラッド層と、p型Ga<sub>1-b</sub>Nを含んでなるp型コンタクト層とを順に有する窒化物半導体素子において、

前記n型コンタクト層と活性層との間にアンドープの第1の窒化物半導体層が形成され、さらに前記p型クラッド層と活性層との間にアンドープの第2の窒化物半導体層が形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 前記n型コンタクト層はn型不純物として、Siが $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上、 $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下でドーピングされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 前記n側のアンドープからなる第1の窒化物半導体層の膜厚は、0.5 μm以下であることを特徴とする請求項1および請求項2に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 前記p側のアンドープからなる第2の窒化物半導体層の膜厚は、0.1 μm以下であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 前記p型クラッド層はMgドーピングのAl<sub>1-b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N ( $0 \leq b < 1$ ) とMgドーピングのIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-c</sub>N ( $0 \leq c < 1$ ) との超格子からなる層であることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は窒化物半導体In<sub>a</sub>Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>1-y</sub>N ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) よりなり、発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子に用いられる窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体は高効率純緑色発光LED、青色LEDとして、既にフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナ光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGa<sub>1-b</sub>Nよりなるn型コンタクト層と、単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造のInGa<sub>1-b</sub>N層を包含する活性層と、MgドーピングAlGa<sub>1-b</sub>Nよりなるp型クラッド層と、MgドーピングGa<sub>1-b</sub>Nよりなるp型コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20 mA、発光波長450 nmの青色LEDで、活性層が単一量子井戸構造の場合、2.5 mW、外部量子効率5パーセント、活性層が多重量子井戸構造の場合、5 mW、外部量子効率9.1パーセント、また発光波長520 nmの緑色LEDで、単一量子井戸構造の場合、2.2 mW、外部量子効率4.3パーセント、多重量子

井戸構造の場合、3 mW、外部量子効率6.3パーセントと非常に優れた特性を示す。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記従来の窒化物半導体素子は、近年では屋外用の大型ディスプレイ等にも使用されるようになり、今後種々の応用製品への適用を考えると、さらなる発光出力の向上が求められる。発光出力を高くする方法として、n型コンタクト層をn型不純物をドーピングしたGa<sub>1-b</sub>Nとすると、低抵抗構造の素子が得られる。しかし、このn型不純物のドーピング量を多くしていくと、n型コンタクト層の結晶性が悪くなってしまふ。n型コンタクト層の結晶性が悪くなってしまうと、さらにその上に積層する活性層、p型クラッド層およびp型コンタクト層のすべての層の結晶性も悪くなってしまひ、発光出力を高くするという効果が打ち消されてしまふ。

【0004】

【課題を解決するための手段】 そこで本発明では、n型コンタクト層を高濃度の不純物がドーピングされた窒化物半導体とした低抵抗構造の窒化物半導体素子において、n型コンタクト層と活性層との間にアンドープの第1の窒化物半導体層を設け、さらにp型クラッド層と活性層との間にアンドープの第2の窒化物半導体層を設けることを特徴とする。

【0005】 すなわち本発明は下記(1)から(5)の構成により本発明の目的を達成することができる。

(1) n型Ga<sub>1-b</sub>Nを含んでなるn型コンタクト層と、In、Gaを含み量子井戸を有する活性層と、p型AlGa<sub>1-b</sub>Nを含んでなるp型クラッド層と、p型Ga<sub>1-b</sub>Nを含んでなるp型コンタクト層とを順に有する窒化物半導体素子において、前記n型コンタクト層と活性層との間にアンドープの第1の窒化物半導体層が形成され、さらに前記p型クラッド層と活性層との間にアンドープの第2の窒化物半導体層が形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【0006】 (2) 前記n型コンタクト層はn型不純物として、Siが $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上、 $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下でドーピングされていることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体発光素子。

【0007】 (3) 前記n側のアンドープからなる第1の窒化物半導体層の膜厚は、0.5 μm以下であることを特徴とする前記(1)および(2)に記載の窒化物半導体発光素子。

【0008】 (4) 前記p側のアンドープからなる第2の窒化物半導体層の膜厚は、0.1 μm以下であることを特徴とする前記(1)から(3)のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

【0009】 (5) 前記p型クラッド層はMgドーピングのAl<sub>1-b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N ( $0 \leq b < 1$ ) とMgドーピングのIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-c</sub>N ( $0 \leq c < 1$ ) との超格子からなる層である

(3)

特開2000-216432

3

4

ことを特徴とする前記(1)から(4)のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

【0010】つまり本発明の発光素子は、n型コンタクト層をS<sub>1</sub>濃度が $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上の高濃度の不純物がドーパされた低抵抗構造の窒化物半導体において、活性層に接してn側に、アンドープの $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$  ( $0 \leq g, 0 \leq h, g+h \leq 1$ ) を $0.5 \mu\text{m}$ 以下で形成し、さらに活性層に接してp側にも、アンドープの $\text{In}_i\text{Al}_j\text{Ga}_{1-i-j}\text{N}$  ( $0 \leq i, 0 \leq j, i+j \leq 1$ ) を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で形成することで高い発光出力で結晶性の良い素子を得ることができる。さらにp型クラッド層をMgドーパの $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$  ( $0 \leq b < 1$ ) とMgドーパの $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$  ( $0 \leq c < 1$ ) との超格子構造とすることで、高い発光出力を維持できる。また、第1および第2の窒化物半導体の膜厚は、大きくすればするほど、その上に形成する層の結晶性は良くなるが、厚くしすぎるとキャリアの注入効率が悪くなってしまい、発光しなくなってしまふ。そこで、n側の第1の窒化物半導体の膜厚を $0.5 \mu\text{m}$ 以下に、p側の第2の窒化物半導体の膜厚を $0.1 \mu\text{m}$ 以下にすることによって、n型コンタクト層にn型不純物としてS<sub>1</sub>を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ と高ドーパにしても20mAにおいて2.5mWを維持したLED素子ができる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下に本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の構造を示す窒化物半導体素子の模式的断面図である図1を用いて、本発明を詳細に説明する。図1は基板1上に、バッファ層2、アンドープのGa<sub>1-x-y</sub>N層3、n型不純物を含むn型コンタクト層4、アンドープからなる第1の窒化物半導体層5、単一量子井戸構造の活性層6、アンドープからなる第2の窒化物半導体層7、p型不純物を含むp型クラッド層8、p型不純物を含むp型コンタクト層9が順に積層された構造を有する。さらに、n型クラッド層4上にn電極10、p型コンタクト層9上にp電極11がそれぞれ形成されている。

【0012】本発明において、基板1としては、サファイアC面、R面またはA面を主面とするサファイア、その他スピネル(MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、Ga<sub>1-x-y</sub>N等の半導体基板を用いることができる。

【0013】本発明において、バッファ層2としては、AlGa<sub>1-x-y</sub>Nからなる窒化物半導体であり、好ましくはAlの割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくはGa<sub>1-x-y</sub>Nからなるバッファ層2が挙げられる。

【0014】次に本発明において、アンドープGa<sub>1-x-y</sub>N層3は、成長する際にn型不純物を添加せずに成長してなる層を示す。バッファ層2上にアンドープのGa<sub>1-x-y</sub>N層3

を成長させるとアンドープGa<sub>1-x-y</sub>N層の結晶性が良好となり、アンドープGa<sub>1-x-y</sub>N層3上に成長させるn型コンタクト層4などの結晶性も良好となる。

【0015】次に本発明において、n型不純物を含むn型コンタクト層4は、n型不純物としてS<sub>1</sub>をドーパしたGa<sub>1-x-y</sub>Nとし、不純物濃度は $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下に調整する。このようにn型不純物を多くドーパし、この層をn型コンタクト層とすると、V<sub>f</sub>および閾値を低下させることができる。不純物濃度が上記範囲を逸脱するとV<sub>f</sub>が低下しにくくなる傾向にある。また、n型コンタクト層4は、結晶性の良好なアンドープのGa<sub>1-x-y</sub>N3上に形成されると、高濃度のn型不純物を有しているにもかかわらず結晶性を良好にすることができる。

【0016】またn型コンタクト層4の組成は、 $\text{In}_k\text{Al}_m\text{Ga}_{1-k-m}\text{N}$  ( $0 \leq k, 0 \leq m, k+m \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGa<sub>1-x-y</sub>N、m値0.2以下のAl<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>Nとすると結晶性の少ない窒化物半導体層が得られやすい。

【0017】次に本発明においてn側の第1の窒化物半導体層5は、アンドープの $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$  ( $0 \leq g, 0 \leq h, g+h \leq 1$ ) とし、10オングストロームから $0.5 \mu\text{m}$ の範囲で、好ましくは10オングストロームから $0.2 \mu\text{m}$ の範囲で、活性層に接して形成する。n側にはキャリア濃度が高濃度で存在するが、第1の窒化物半導体層の膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ を越えてしまうとキャリアの注入効率が悪くなってしまい、充分な発光出力が得られない。また、10オングストロームより小さいとその上に形成する層の結晶性が悪くなってしまい、同様に充分な発光出力が得られない。

【0018】また本発明において活性層6は、InGaを含むアンドープの窒化物半導体、好ましくはInGa<sub>1-x-y</sub>Nよりなる井戸層を有する単一または多重の量子井戸構造とすることが望ましい。また本発明における低抵抗構造の窒化物半導体発光素子は、特に単一量子井戸構造の時に顕著な効果がある。

【0019】次に本発明においてp側の第2の窒化物半導体層7は、アンドープの $\text{In}_i\text{Al}_j\text{Ga}_{1-i-j}\text{N}$  ( $0 \leq i, 0 \leq j, i+j \leq 1$ ) とし、10オングストロームから $0.1 \mu\text{m}$ の範囲で、好ましくは10オングストロームから100オングストロームの範囲で、活性層に接して形成する。

【0020】次に本発明においてp型クラッド層8は、p型不純物としてMgをドーパしたAl<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N ( $0 \leq b < 1$ ) の単層からなる層でも良いが、好ましくはAl<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N ( $0 \leq b < 1$ ) とMgドーパの $\text{In}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$  ( $0 \leq c < 1$ ) との超格子構造とすることが望ましい。p型クラッド層を超格子構造とすると抵抗率が低下するため、V<sub>f</sub>および閾値が低下できると共に発光出

(4)

特開2000-216432

5

6

力の高い素子を得ることができる。またこの層を超格子構造とする場合、超格子を構成する窒化物半導体層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、さらに最も好ましくは50オングストローム以下に調整する。

【0021】次に本発明においてp型コンタクト層9は、p型不純物としてMgをドーブしたGa<sub>0.9</sub>Nとし、不純物濃度を $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ とすることで良好なp型層ができ好ましい。

【0022】

【実施例】以下に、本発明の一実施の形態である実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。

【実施例1】図1を元に実施例1について説明する。サファイア(C面)よりなる基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0023】(バッファ層2)続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGa<sub>0.9</sub>Nよりなるバッファ層2を150オングストロームの膜厚で成長させる。

(アンドープGa<sub>0.9</sub>N層3)バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで昇温させる。続いて1050℃で、同じく原料ガスに、TMG、アンモニアを用い、アンドープGa<sub>0.9</sub>N層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

【0024】(n型コンタクト層4)続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニア、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーブしたGa<sub>0.9</sub>Nよりなるn型コンタクト層4を2.25μmの膜厚で成長させる。

【0025】(n側窒化物半導体層5)次にシランガスを止め、1050℃で、TMG、TMA、アンモニアを用い、アンドープAlGa<sub>0.9</sub>N層5を0.15μmの膜厚で成長させる。

(活性層6)次に、温度を800℃まで下げ、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nよりなる活性層6を30オングストロームの膜厚で成長させる。

【0026】(p側窒化物半導体層7)次に窒素、TMIを止め、温度を1050℃まで昇温し、TMG、TMA、アンモニアを用い、アンドープAlGa<sub>0.9</sub>N層7を10オングストロームの膜厚で成長させる。

【0027】(p型クラッド層8)続いて1050℃で、TMG、TMA、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーブしたAlGa<sub>0.9</sub>Nよりなる層を40オングストローム成長させ、次に温度を800℃にして、TMAを止めTMIを流し、同じくMgを

$1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーブしたInGa<sub>0.9</sub>Nよりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を交互に繰り返して、5層ずつ積層させた、超格子からなるp型クラッド層8を成長させる。

【0028】(p型コンタクト層9)続いて1050℃で、TMG、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーブしたp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp型コンタクト層9を0.15μmの膜厚で成長させる。

【0029】反応終了後、温度を室温まで下げ、更に窒素雰囲気中、ウェハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層を更に低抵抗化する。アニーリング後、ウェハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層9の表面に所定のマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッチング)装置でp型コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn型コンタクト層4の表面を露出させる。

【0030】エッチング後、最上層にあるp型コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNi、Auを含む透光性のp電極10を0.5μmの膜厚で形成し、一方エッチングにより露出させたn型コンタクト層4の表面にはWとAlを含むn電極11を形成してLED素子とした。このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、順方向電圧3.4V、468nmの青色発光を示し、発光出力は3mWであった。

【0031】【実施例2】実施例1において活性層6を以下のようにした他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層6)1050℃でアンドープのGa<sub>0.9</sub>Nよりなる障壁層を200オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にしてTMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸+...+障壁の順で障壁層を5層、井戸層を4層交互に積層して総膜厚1120オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層6を成長させる。その結果、このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、順方向電圧3.6V、470nmの青色発光を示し、発光出力は6.0mWであった。

【0032】【実施例3】実施例1において活性層6を以下のようにした他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層6)800℃で、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nよりなる活性層6を30オングストロームの膜厚で成長させる。その結果、このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、順方向電圧3.4V、500nmの青緑色発光を示し、発光出力は2.5mWであった。

【0033】【実施例4】実施例1において、p側の第

(5)

特開2000-216432

7

8

2の窒化物半導体層7を除いた他は同様にしてLED素子を作製したところ、実施例1よりは少し劣るが同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0034】実施例5 実施例1において、p型クラッド層8を以下のようにした他は同様にしてLED素子を作製した。

(p型クラッド層8) 1050℃で、TMG、TMA、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたAlGaInよりなるp型クラッド層8を2500Åの膜厚で成長させた。その他は実施例1と同様にしてLED素子を作製したところ、実施例1よりは少し劣るが同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0035】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、n型コンタクト層を高濃度の不純物がドープされた窒化物半導体とした低抵抗構造の窒化物半導体素子において、n型コンタクト層と活性層との間にアンドープの第1の窒化物半導体層を5000Å以下の膜厚で設け、さらにp型クラッド層と活性層との間にア

\* ローム以下の膜厚で設ける。このような構造にしたことによって、 $V_f$ および閾値が低下し、高い発光出力の素子が得られる。さらにn型コンタクト層にn型不純物としてSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ と高ドープにしても20mAにおいて2.5mWを維持したLED素子ができる。

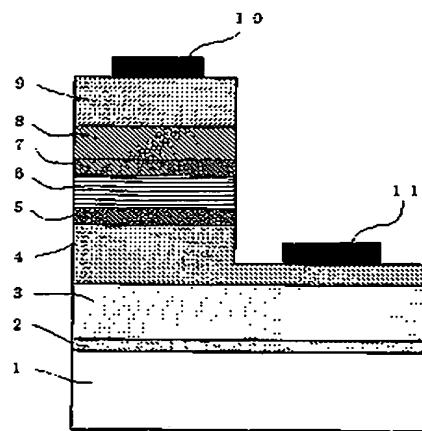
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例にかかるLED素子の構造を示す模式断面図。

【符号の簡単な説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・GaIn層
- 4・・・n型コンタクト層
- 5・・・n側窒化物半導体層
- 6・・・活性層
- 7・・・p側窒化物半導体層
- 8・・・p型クラッド層
- 9・・・p型コンタクト層
- 10・・・p電極
- 11・・・n電極

【図1】



(6)

特開2000-216432

フロントページの続き

F ターム(参考) 5F041 AA03 AA04 CA04 CA05 CA34  
CA40 CA46 CA49 CA57 CA67  
CA74 CA82 CA92 CB13 FF01  
FF16  
5F045 AA04 AB14 AB17 AB18 AC01  
AC08 AC12 AC19 AD09 AD12  
AD14 AF03 AF04 AF09 AF13  
BB12 BB16 CA11 CA12 DA53  
DA54 DA55 DA59 EB15 HA16  
5F073 AA73 AA74 CA07 CB05 CB19  
CB22 DA07 DA21 EA07

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**